



## تخمین دقت مدل‌های تجربی در تعیین ضریب رواناب سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه به کمک فناوری سنجش‌ازدور (RS)

مهدی اکبری<sup>۱</sup>، محمدمهدی آقایی<sup>۲</sup>، حمید فرهمند<sup>۳</sup>، محمد مسعود تجربی<sup>۴</sup>

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

۲ و ۳- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

۴- استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

[akbari\\_mahdi@mehr.sharif.ir](mailto:akbari_mahdi@mehr.sharif.ir)

### خلاصه

محاسبه رواناب برای حوضه‌های فاقد اندازه‌گیر یک چالش مهم برای محققین و برنامه‌ریزان منابع آب می‌باشد. از آنجایی که با مشخص نمودن این ترم مهم در معادله بیلان آبی می‌توان محاسبات لازم برای دیگر ترم‌های معادله بیلان مانند میزان تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی را پی‌ریزی نمود، محاسبه رواناب به‌عنوان نقطه شروع بررسی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز شناخته می‌شود. در این تحقیق از مدل‌های تجربی SCS-CN و Kennessy برای تولید نقشه ضریب رواناب حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۶ استفاده شده است. با توجه به مشکل پخش آب در نزدیکی سطح دریاچه ارومیه و دست‌خوردگی حوضه‌های میانی از فعالیت‌های کشاورزی سعی شده است تا با انتخاب زیر حوضه‌هایی که در سرشاخه رودها قرار دارند، انطباق مدل با شرایط طبیعی افزایش یابد. نتایج نشان می‌دهد که روش Kennessy برای مدل‌سازی رواناب این حوضه در مقیاس سالانه از دقت بالاتری برخوردار است. روش SCS-CN در گام‌های زمانی کوچک‌تر همچون روزانه دقت بیشتری را نشان می‌دهد. میانگین ضرایب رواناب مشاهداتی در زیر حوضه‌های منتخب برابر ۰٫۲ است. در مدل Kennessy مقدار شاخص آماری RMSE در این نواحی برابر ۰٫۲ بوده، درحالی که در همان زیر حوضه‌ها در مدل SCS-CN میزان RMSE برابر ۰٫۶ می‌باشد. این یعنی که مدل شماره منحنی در مقیاس‌های بزرگ زمانی بسیار کم دقت‌تر از مدل Kennessy است. قابل ذکر است که مدل Kennessy نیز نیاز به کالیبره شدن دارد؛ چرا که دقت آن با توجه به شاخص RMSE و میزان رواناب مشاهداتی از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ضریب رواناب، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش‌ازدور، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، SCS-CN، Kennessy

### ۱. مقدمه

محاسبه رواناب در واقع نقطه شروع بررسی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز می‌باشد، زیرا با مشخص نمودن این ترم مهم در معادله بیلان آبی می‌توان محاسبات لازم برای دیگر ترم‌های معادله بیلان مانند میزان تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی را پی‌ریزی نمود. لذا عدم وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری رواناب سطحی در برخی حوضه‌های آبریز فاقد اندازه‌گیر<sup>۱</sup> چالش مهم برای محققین و برنامه‌ریزان حوضه منابع آب به وجود آورده است. در نتیجه، تخمین ضریب رواناب به‌نوعی می‌تواند به حل این مشکل کمک کرده و اولین گام در بررسی بیلان حوضه در ابعاد مختلف باشد. محاسبه‌ی میزان بارش باران و توزیع مکانی آن برای تخمین ضریب رواناب ضروری است. عدم وجود تعداد کافی ایستگاه ثبت بارش و توزیع نامناسب مکانی آن‌ها نیز مشکل دیگری برای تخمین ضریب رواناب سطحی به حساب می‌آید.

یکی از موانع موجود برای استفاده از روش‌های تخمین ضریب رواناب، دخالت‌های انسانی در برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. در واقع، برداشت از آب زیرزمینی و سطحی باعث می‌شود که میزان رواناب سطحی نسبت به بارش رخ داده، کاهش یابد و در نتیجه مقدار کمتری برای ضریب رواناب تخمین زده شود. بنابراین، در صورت شناسایی آن بخش از زیر حوضه‌های آبریز که تقریباً مصون از تغییرات انسانی بوده، می‌توان ضریب رواناب را با اطمینان بیشتر و نزدیک‌تر به واقعیت تخمین زد. غالب روش‌های تجربی از اهم عوامل تأثیرگذار در میزان رواناب تولیدی استفاده کرده و از پارامترهای جزئی صرف‌نظر می‌نمایند. عوامل عمده تأثیرگذار در رواناب تولیدی عبارت‌اند از: کاربری اراضی، شیب زمین، نوع بافت خاک منطقه، سنگ‌شناسی منطقه.

<sup>۱</sup> Ungauged Basins

در برخی مطالعات صورت گرفته تعیین ضریب رواناب در داخل کشور که به کمک روش SCS-CN صورت گرفته، مساحت حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه آنقدر کم بوده است که تعیین گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه (A, B, C, D)، با استفاده از نفوذسنج  $DR_2$  صورت گرفته است. این دستگاه شامل دو استوانه موازی هم می‌باشد که در خاک فرورفته و بین فاصله این دو استوانه آب ریخته می‌شود تا شدت نفوذ آن به خاک با توجه نرخ کاهش ارتفاع آب استوانه‌ها اندازه‌گیری گردد.

در کشور هند Pandey and Dabral برای زیر حوضه آبریز Karso با مساحت ۲۷۹۳ هکتار و به کمک روش Curve (SCS, ۱۹۷۲) Number (باتام دیگر Soil Cover Complex) به تولید ضریب رواناب اقدام نمودند. روش مذکور به کمک سه لایه نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و وضعیت آب موجود در خاک و نسبت دادن یک شاخص به نام شماره منحنی (CN) با توجه به خصوصیات یادشده به محاسبه مقدار رواناب می‌پردازد. نتایج بررسی‌های آن‌ها و مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تفاوت بین ۱ تا ۲۸ درصدی را نشان می‌دهد که دقت خوبی است [۱].

شایسته و کریمی برای حوضه آبخیز مندرجان (از زیر حوضه‌های زاینده‌رود) با روش SCS-CN ضریب رواناب را تعیین نمودند. ایشان از تصاویر ماهواره‌های MSS و IRS استفاده کرده و هدف اصلی تحقیقات ایشان بررسی اثر رواناب تولیدی بر فرسایش‌پذیری خاک بوده است. آن‌ها دریافتند که در اثر تغییر کاربری اراضی شماره منحنی منطقه در بازه سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۹ برابر ۱٫۹۲، و از ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵، ۶۵ درصد افزایش داشته که این به معنا افزایش رواناب تولیدی است [۲].

براتی قهفرخی و سلطانی کویابی [۳] با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر احتمال وقوع سیل به محاسبه ضریب رواناب با روش SCS-CN در حوضه آبریز قلعه شاهرخ (جزء حوضه دریاچه سد زاینده‌رود) پرداختند. آن‌ها توانستند شماره منحنی منطقه را محاسبه نموده و در نهایت با میانگین وزنی، ضریب رواناب برای سال آبی ۱۳۸۱ را برابر ۶۰ درصد تعیین نمایند.

## ۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران است. این حوضه، یکی از ۶ حوضه آبریز دریاچه اول در کشور است و بخشی از استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان را شامل می‌شود. این حوضه آبریز در مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و دارای مساحت تقریبی ۵۱۸۶۲ کیلومتر مربع است. از این مقدار، مناطق کوهستانی حدود ۳۴۱۰ کیلومتر مربع، دشت‌ها و کوهپایه‌ها حدود ۱۴۱۱۳ کیلومتر مربع و دریاچه ارومیه حدود ۴۶۳۹ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهند. دوره آماری ۳۱-۱۳۳۰ تا ۹۲-۱۳۹۱، کاهش در میزان بارش باران این حوضه آبریز را نشان می‌دهد. قسمت اول این دوره آماری از سال ۳۱-۱۳۳۰ تا ۷۴-۱۳۷۳ می‌تواند به‌عنوان دوره ایستادن نام‌برده می‌شود و دارای میانگین بارش ۳۸۵ میلی‌متر است. قسمت دوم نیز از سال ۷۵-۱۳۷۴ تا ۹۲-۱۳۹۱ است و بارش آن به میزان ۹٫۲ درصد کمتر از ۴۰ سال قبل است [۴].

روند خشک شدن دریاچه از کاهش آورد رودخانه‌های منتهی به آن حاصل گشته است. میزان کاهش ورودی‌ها، موقعیت رودخانه‌های اصلی دریاچه و میزان افت آورد هر کدام از آن‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱ - رودهای منتهی به دریاچه ارومیه و میزان کاهش آورد آن‌ها

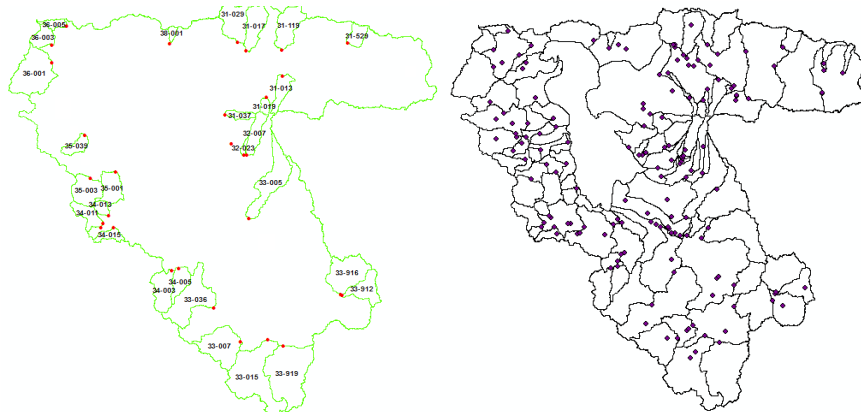
در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در نواحی نزدیک دریاچه، سطح زمین هموار شده و در نتیجه، آب رودخانه‌ها در سطح بیشتری پخش می‌شوند. این ویژگی، ثبت آمار در این نواحی را مشکل می‌نماید. البته در حاشیه حوضه به دلیل شیب مناسب، آبراهه به‌طور مجزا ایجاد و به‌سادگی امکان تعبیه ایستگاه هیدرومتری برای ثبت داده وجود دارد؛ لذا می‌توان ادعا نمود در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در نواحی نزدیک دریاچه، زیر حوضه‌های فاقد اندازه‌گیر وجود دارد، در نتیجه دستیابی به دید کمی نسبت به میزان رواناب تولیدی در این نواحی با مشکل همراه هست؛ بعلاوه، اکثر استفاده‌کنندگان آب که شامل کشاورزان می‌باشد، از نواحی نزدیک دریاچه، آب برداشت می‌کنند. زیر حوضه‌های فاقد آمار ثبت‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.



0 25 50 100 150 200  
Kilometers

شکل ۲ - محدوده فاقد آمار ثبت‌شده از رواناب تولیدی در اثر بارش

در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۹۸ زیر حوضه وجود دارد و در شکل ۳ تمامی این زیر حوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری نمایش داده شده است. در خروجی تمامی آن‌ها یک ایستگاه هیدرومتری قرار دارد. لذا با توجه به این نکته که باید زیر حوضه‌ها در سرشاخه‌ها باشند تا رواناب طبیعی مشاهده گردد، ۲۸ زیر حوضه که از نظر پیوستگی ثبت داده وضعیت مطلوبی دارند، به‌عنوان زیر حوضه‌های منتخب برگزیده شدند. زیر حوضه‌های منتخب برای مدل‌سازی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ - تمامی زیر حوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز دریاچه ارومیه (سمت راست). زیر حوضه‌ها منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه و محل ایستگاه هیدرومتری در خروجی آن‌ها (سمت چپ)

### ۳. معرفی داده‌ها و روش مورد استفاده

#### ۳-۱- روش SCS-CN

روش SCS-CN که توسط Soil Conservation Service ارائه گردیده و به‌طور نیمه تجربی با لحاظ نمودن گروه هیدرولوژیکی خاک، نوع کاربری اراضی منطقه و محاسبات ساده مدل‌سازی، ضریب رواناب را به‌صورت تجربی تخمین می‌زند. ابتدا با استفاده از دو مشخصه یعنی نفوذپذیری خاک منطقه (گروه هیدرولوژیکی خاک از نظر میزان نفوذ) و نوع کاربری اراضی و همچنین جداول موجود SCS، شاخص شماره منحنی به دست می‌آید و در نهایت



با استفاده از روابط موجود، میزان رواناب تولیدی با توجه به شماره منحنی زیر حوضه‌ها محاسبه می‌شود [۵]. البته روش‌هایی نیز توسعه یافته‌اند که اثر شیب زمین را در شماره منحنی لحاظ می‌نمایند [۶ و ۷]، اما SCS-CN استاندارد که در سال ۱۹۷۲ ارائه گردیده، اثر شیب را نادیده گرفته است. جزییات بیشتر در [۸] ارائه شده است. در این روش یک شاخص مهم به نام Ia وجود دارد که بیان‌گر جذب اولیه خاک منطقه مورد مطالعه است. با افزایش رطوبت می‌توان بر جذب اولیه فائق آمده و رواناب تولیدی را مشاهده نمود. پس اگر میزان بارش از جذب اولیه روش SCS-CN کمتر باشد، رواناب صفر خواهد بود. (از این پس جذب اولیه روش SCS-CN با علامت Iacn نمایش داده می‌شود).

### ۲-۳- روش Kennessy

روش Kennessy با توجه به سه عامل اصلی در تولید رواناب، به ارائه ضرایبی پیش‌فرض می‌پردازد. این روش ابتدا شیب، کاربری زمین و نفوذپذیری خاک بر مبنای سنگ‌شناسی را به کلاس‌های متفاوت تقسیم نموده و برای هر کلاس ضرایب جزئی اختصاص می‌دهد. در نهایت با مشخص شدن هر سه لایه اطلاعاتی مذکور برای منطقه مورد بررسی، می‌توان با جمع سه ضریب جزئی فوق‌الذکر، به ضریب رواناب کل دست یافت [۹]. البته لازم به ذکر است که روش Kennessy و ضرایب ارائه شده توسط این روش نیاز به کالیبراسیون دارد [۱۰]. در جدول ۱ مقادیر ضرایب جزئی هر کلاس در روش Kennessy استاندارد نشان داده شده است.

در جدول ۱ (Index of Aridity) Ia یک پارامتر اقلیمی است که بیانگر میزان تر، نرمال یا خشک بودن منطقه مورد بررسی از نظر میزان بارندگی سالیانه است. بر مبنای اطلاعات جدول ۱ مناطق تر با Ia بالا رواناب بیشتری تولید می‌نمایند. روش Kennessy در بیشترین حالت ضریب رواناب برابر ۰٫۹ و در کمترین حالت مقداری برابر ۰٫۰۶ ارائه می‌دهد. نحوه محاسبه Ia در رابطه ۱ نشان داده شده است.

$$Ia = [(P/T + 10) + (12p/t)] / 2 \quad (1)$$

که در آن P میانگین بارش سالیانه (mm)، T میانگین دمای سالیانه (°C)، p بارش در گرم‌ترین ماه سال (mm) و t دمای گرم‌ترین ماه سال (°C) است.

جدول ۱ - ضرایب رواناب جزئی برای کلاس‌های مختلف در روش Kennessy

پارامتر	طبقه‌بندی	Ia < ۲ ۵	۲۵ < Ia < ۴ ۰	Ia > ۴۰
شیب	> ۳۵٪	۰٫۲۲	۰٫۲۶	۰٫۳۰
	۱۰-۳۵٪	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۲۰
	۳٫۵-۱۰٪	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۵
	< ۳٫۵٪	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳
نفوذپذیری	بسیار ضعیف	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۳۰
	ضعیف	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۲۵
	متوسط	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۲۰
	خوب	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۱۰
	بسیار خوب	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵
پوشش زمین	زمین بایر	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۳۰
	چمنزار	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۲۵
	مزرعه	۰٫۰۷	۰٫۱۱	۰٫۱۵
	جنگل	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵

### ۳-۳- روش مورداستفاده در این مطالعه

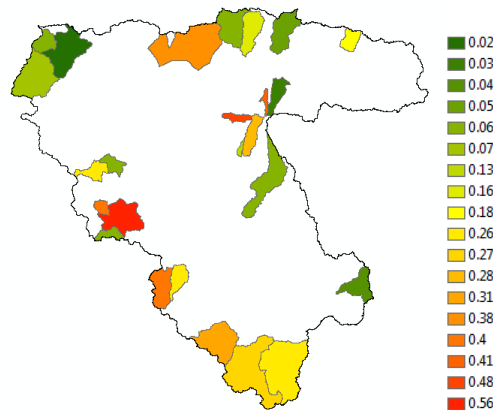
در صورت وجود دخالت‌های انسانی در برداشت از منابع آب زیرزمینی و آب سطحی، میزان رواناب حاصل از بارش باران و برف کاهش یافته و دستخوش تغییرات زیادی از قبیل تغییر در توزیع زمانی رواناب تولید شده شکل خواهد گرفت. بنابراین لازم است تا اطلاعات مربوط به میزان مصرف آب سطحی و زیرزمینی در اختیار باشد و در نتیجه بتوان اثر آن‌ها را بر تعیین ضریب رواناب مشخص نمود. از آنجاکه دقت برداشت و ثبت اطلاعات مربوط به منابع آب

سطحی ناکافی بوده و تقریباً هیچ گونه اطلاعاتی درباره توزیع زمانی و مکانی برداشت از آب زیرزمینی در اثر برداشت غیرمجاز از آبخوانها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه وجود ندارد، نمی توان اثر این عامل انسانی را بر تعیین ضریب رواناب به خوبی اعمال کرد. در این مطالعه، ابتدا زیر حوضه هایی که در سرشاخه رودها قرار دارند و برداشت زیاد در این نواحی وجود ندارد، مشخص گردیدند. دلیل اعمال این دو محدودیت در انتخاب زیر حوضه این است که بتوان رواناب ثبت شده را بدون مداخله و برداشت انسانی به میزان بارش نازل شده مرتبط و مدل را با رفتار طبیعی منطقه کالیبره نمود. با این اقدام همچنین می توان نسبت به دقت محاسبات روش به کاربرده شده دید کمی پیدا کرده و در صورت خطای زیاد محاسبات به اصلاح روش پرداخته و اصطلاحاً آن را برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه منطقه ای نمود.

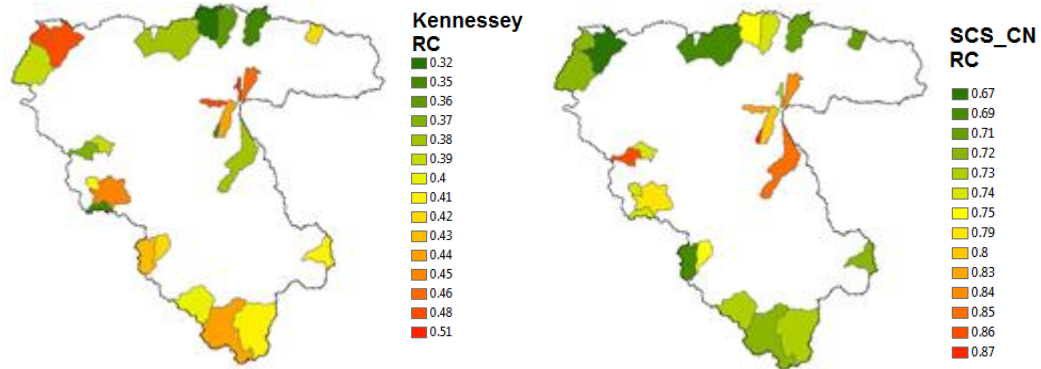
همان طور که قبلاً نیز بیان شد، تعیین الگوی مکانی و زمانی بارش باران در تعیین ضریب رواناب اهمیت بسیار دارد. الگوی مکانی و زمانی بارش باران از نتایج [۱۱] به دست آمده است. در گام بعدی تحقیق و با توجه به روش مدل سازی مورد استفاده، نیاز به سه لایه اطلاعاتی می باشد: (۱) پوشش زمین، (۲) شیب و (۳) نفوذپذیری خاک منطقه. از آنجا که مقیاس زمانی تحقیق که به صورت سالانه است، می توان از عوامل دیگر تأثیر گذار صرف نظر کرده و برای ساده سازی مدل محاسبه رواناب فقط به آن سه لایه اطلاعاتی مؤثر پرداخته شود. لایه پوشش زمین سالانه از ماهواره MODIS و محصول MCD۱۲Q۱ تهیه گشته و با نقشه های کاربری اراضی موجود که توسط موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف مقایسه گردیده و از نظر دقت مورد نیاز تأیید گشت. شیب منطقه به کمک ماهواره SRTM با دقت مکانی ۳۰ متری تولید و سپس به دقت مکانی ۱ کیلومتری بزرگ مقیاس گردید. مشکل ترین لایه اطلاعاتی از نظر امکان دسترسی، نقشه نوع خاک است. برای تهیه این لایه اطلاعاتی از سه منبع می توان بهره برده برد: (۱) نقشه نوع خاک جهانی FAO با عنوان ۲، ۱، Harmonized world soil database، (۲) نقشه "میزان نفوذپذیری خاک حوضه آبریز دریاچه ارومیه" که توسط مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف تولید گشته است و (۳) نقشه نوع بافت خاک استان های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب وابسته به وزارت جهاد کشاورزی ایران و با درون یابی بیش از ۳۰۰۰ نقطه برداشت شده از منطقه تولید گردیده است. دقت تفکیکی نقشه جهانی قابلیت نفوذپذیری که توسط FAO ارائه گردیده به دلیل امکان تعیین گروه هیدرولوژیکی خاک در مدل سازی SCS-CN مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین و مقایسه دقت دو مدل تجربی SCS-CN و Kennessy مدل سازی برای سال ۲۰۰۷ صورت گرفت.

#### ۴. نتایج

پیش از تعیین ضریب رواناب زیر حوضه های منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، لازم است تا میزان دبی پایه در ایستگاه هیدرومتری آن زیر حوضه ها از مقادیر دبی مشاهداتی کسر گردد تا میزان رواناب مستقیم حاصل از بارش به دست آید. ضرایب رواناب مشاهداتی در زیر حوضه های منتخب در شکل ۴ و همچنین توزیع مکانی ضرایب به دست آمده از روش SCS-CN و Kennessy در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴- ضرایب رواناب مشاهداتی سال ۲۰۰۶ در زیر حوضه های منتخب



شکل ۵ - نقشه ضریب رواناب برای سال آبی ۲۰۰۶ از روش SCS-CN (سمت راست) و Kennessey (سمت چپ) در زیر حوضه‌های منتخب دریاچه ارومیه

به منظور مدل‌سازی توسط روش Kennessey، نقشه نفوذپذیری با توجه به سنگ‌شناسی منطقه از گزارش بیلان حوضه آبریز دریاچه ارومیه دریافت گردید [۱۲]. پس از حذف داده‌های بی کیفیت به دلیل عوامل متنوع تولید خطا در ثبت مشاهدات دبی در ایستگاه‌های منتخب، ضریب رواناب محاسبه شده توسط هر دو روش با مقدار مشاهداتی مقایسه می‌شود. این مقایسه در جدول ۲ نشان داده شده است. بر مبنای اطلاعات این جدول، به قطعیت می‌توان گفت که در مرحله اولیه، روش Kennessey خام دقت بسیار بهتری نسبت به روش شماره منحنی (SCS-CN) دارد.

جدول ۲ - مقایسه ضرایب رواناب محاسباتی از روش SCS-CN و Kennessey با مقادیر مشاهداتی و ارائه شاخص خطا RMSE برای سال ۲۰۰۶

کد زیر حوضه منتخب	ضریب رواناب Kennessey	ضریب رواناب SCS-CN	ضریب رواناب مشاهداتی
۳۱-۰۱۳	۰,۴۶	۰,۸۴	۰,۰۳
۳۱-۰۱۷	۰,۳۶	۰,۷۴	۰,۱۶
۳۱-۰۱۹	۰,۵۱	۰,۷۳	۰,۴۱
۳۱-۰۲۹	۰,۳۲	۰,۷۵	۰,۰۶
۳۱-۰۳۷	۰,۴۸	۰,۸۳	۰,۴۸
۳۱-۱۱۹	۰,۳۵	۰,۷۱	۰,۰۵
۳۱-۵۲۹	۰,۴۲	۰,۷۱	۰,۱۸
۳۲-۰۰۷	۰,۴۴	۰,۸۰	۰,۲۸
۳۲-۰۲۳	۰,۳۵	۰,۸۷	۰,۱۳
۳۳-۰۰۵	۰,۳۸	۰,۸۵	۰,۰۶
۳۳-۰۰۷	۰,۴۰	۰,۷۳	۰,۳۱
۳۳-۰۱۵	۰,۴۴	۰,۷۲	۰,۲۷
۳۳-۰۳۶	۰,۳۹	۰,۷۵	۰,۲۹
۳۳-۹۱۲	۰,۴۱	۰,۷۲	۰,۰۴
۳۳-۹۱۶	۰,۳۸	۰,۷۳	۰,۱۶
۳۳-۹۱۹	۰,۴۱	۰,۷۳	۰,۲۶
۳۴-۰۰۳	۰,۴۳	۰,۶۹	۰,۴۰
۳۴-۰۰۵	۰,۴۲	۰,۷۵	۰,۲۶
۳۴-۰۱۱	۰,۴۵	۰,۷۹	۰,۵۶
۳۴-۰۱۳	۰,۴۱	۰,۷۴	۰,۴۰
۳۴-۰۱۵	۰,۳۵	۰,۷۴	۰,۰۶
۳۵-۰۰۱	۰,۳۹	۰,۷۴	۰,۰۶
۳۵-۰۰۳	۰,۳۷	۰,۸۶	۰,۲۶
۳۵-۰۳۹	۰,۳۶	۰,۷۵	۰,۲۰





کد زیر حوضه منتخب	ضریب رواناب Kennessey	ضریب رواناب SCS-CN	ضریب رواناب مشاهداتی
۳۶-۰۰۱	۰,۳۹	۰,۷۲	۰,۰۷
۳۶-۰۰۳	۰,۴۸	۰,۷۲	۰,۰۶
۳۶-۰۰۵	۰,۴۸	۰,۶۷	۰,۰۲
۳۸-۰۰۱	۰,۳۸	۰,۶۹	۰,۳۸
<b>RMSE</b>	<b>۰,۲</b>	<b>۰,۶</b>	
<b>Mean of Observation</b>	<b>۰,۲</b>		

با توجه به شاخص RMSE برای هر دو روش می توان گفت که روش SCS سه برابر بیشتر از روش Kennessey خطا تولید می کند. باید توجه داشت با توجه به میانگین ضریب رواناب مشاهداتی، یعنی ۰,۲، خطای روش استاندارد Kennessey نیز زیاد می باشد لذا نیاز به کالیبراسیون این مدل بسیار احساس می گردد.

علت وقوع خطای بسیار در روش SCS-CN در اثر تجمع داده های بارش در بازه زمانی سالانه حاصل شده است. مهم ترین مشخصه روش شماره منحنی، پیشگویی دقیق تر آن در بررسی های وقایع محور (event-base) است. تفسیر دقت مدل در پیشگویی های event-base در بطن روابط حاکم بر روش وجود دارد؛ چراکه در صورت جمع شدن بارش در مقیاس سالیانه، اثر Iacn یا همان جذب اولیه پیش از وقوع رواناب در نظر گرفته نمی شود و از آنجا که شماره منحنی ثابت است، پس Iacn ثابت می ماند ولی بارش از حالت واقعه محور (event-base) به سالیانه تبدیل گشته که همیشه از مقدار Iacn بالاتر خواهد شد. با ثابت ماندن Iacn و رشد ترم P به دلیل جمع شدن مقدار وقایع بارندگی در مقیاس سالیانه، این فرض مهم روش SCS را که اگر بارش کمتر از Iacn باشد رواناب تولید نمی شود، خنثی می نماید.

برای رفع این مشکل توضیح داده شده در فوق، می توان رواناب تولیدی از روش را به صورت event-base تک به تک محاسبه نموده و سپس با عملیات جمع به مقدار سالیانه تبدیل نمود. اما با توجه به عدم وجود داده کافی که همان دسترسی به داده وقایع بارش می باشد، امکان انجام این کار برای این تحقیق وجود ندارد. عمده داده بارش موجود کشور در ریزترین حالت به صورت روزانه بوده و نمی تواند بیانگر وقایع بارش چندساعته، چندروزه و... باشد. البته این مشکل را می توان با کمی ساده انگاری و با استفاده از داده های روزانه حل نمود؛ اما مسئله اصلی استفاده از روش SCS-CN، عدم دسترسی به داده مناسب از بافت خاک است.

میانگین ضرایب رواناب مشاهداتی در زیر حوضه های منتخب برابر ۰,۲ است. در مدل Kennessey مقدار شاخص آماری RMSE در این نواحی برابر ۰,۲ بوده، در حالی که در همان زیر حوضه ها در مدل SCS-CN میزان RMSE برابر ۰,۶ می باشد. این یعنی که مدل شماره منحنی در مقیاس های بزرگ زمانی بسیار کم دقت تر از مدل Kennessey است. قابل ذکر است که مدل Kennessey نیز نیاز به کالیبره شدن دارد؛ چرا که دقت آن با توجه به شاخص RMSE و میزان رواناب مشاهداتی از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی باشد.

## ۵. مراجع

- Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C., & Dabral, P. P. (۲۰۰۳). Estimation of runoff for agricultural watershed using SCS Curve Number and Geographic Information System. Map India. Online. URL: <http://www.gisdevelopment.net/application/agriculture/soil/pdf/48.pdf> (Issue: March ۲۰۰۷).
۱. شایسته، ح. کریم زاده، س. سلطانی و ر. مدرس، "بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رفتار هیدرولوژیکی با کمک RS و GIS (مطالعه مندرجان اصفهان)"، در کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز، ۱۳۸۸.
۳. س. ب. قهفرخی، س. س. کوپایی و ب. رایگانی، "تهیه نقشه ضریب رواناب با RS و GIS"، کنفرانس بین المللی منابع آب، ۴-۷، pp. ۱۳۸۹.
۴. Delju, A. H., Ceylan, A., Piguat, E., & Rebetez, M. (۲۰۱۳). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. Theoretical and applied climatology, ۱۱۱(۱-۲), ۲۸۵-۲۹۶.
۵. Soil Conservation Service (۱۹۷۲). National Engineering Handbook, Section ۴, Hydrology, Chapter ۹-۱۰, Soil Conservation Service, Washington DC.
۶. Huang, M., Gallichand, J., Wang, Z., & Goulet, M. (۲۰۰۶). A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China. Hydrological Processes, ۲۰(۳), ۵۷۹-۵۸۹.



۷. Mishra, S. K., Chaudhary, A., Shrestha, R. K., Pandey, A., & Lal, M. (۲۰۱۴). Experimental verification of the effect of slope and land use on SCS runoff curve number. *Water Resources Management*, ۲۸(۱۱), ۳۴۰۷-۳۴۱۶.
۸. Chung, W. H., Wang, I. T., & Wang, R. Y. (۲۰۱۰). Theory-based SCS-CN method and its applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, ۱۵(۱۲), ۱۰۴۵-۱۰۵۸.
۹. Kennessey, B., ۱۹۳۰. Lefoljasy tènyszok ès renenciok. *Vizugy, Koziemènyek, Hungary*.
۱۰. Grillone, G. , Baiamonte and F. D'Asaro, ۲۰۱۴. , "Empirical Determination of the Average Annual Runoff," *American Journal of Applied Sciences*, vol.۳, pp. ۳, ۵.
۱۱. اکبری، مهدی؛ آقایی، محمدمهدی؛ فرهمند، حمید؛ تجریشی، مسعود، ریزمقیاس نمودن محصول بارش ماهواره TRMM به کمک داده‌های ثبت شده زمینی و مدل رقوم ارتفاعی، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۱۳۹۵.
۱۲. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف، بیان آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۰ میلادی، ۱۳۹۵.